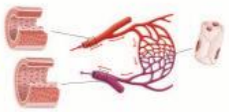
8

1 El medio interno y los sistemas circulatorios



2 Funcionamiento básico de un sistema circulatorio

3 Las funciones del sistema circulatorio

4 Los tipos de sistemas circulatorios

La nutrición en animales II: circulación y excreción

EN PORTADA

Los problemas fisiológicos de vivir en el mar

Los peces son un grupo muy heterogéneo de animales del que procedemos el resto de los vertebrados. Sus antecesores surgieron en el mar, un medio con una alta concentración en sales, lo que provoca en sus habitantes una pérdida constante de agua debido a la ósmosis. ¿Cómo resuelven los peces este problema?

¿Has comido alguna vez carne de tiburón o de raya? En ocasiones, al abrirlos, emiten un fuerte olor a amoniaco que procede de la transformación de la urea. ¿Por qué ocurre esto?

Los condrictios o peces cartilaginosos (los tiburones y las rayas actuales) son un grupo marino que ha resuelto el problema osmótico acumulando urea en su medio interno y elevando su concentración hasta hacerla similar (isotónica) a la marina. Para ello, han tenido que salvar alguna dificultad, ya que la urea es una sustancia tóxica.

El otro gran grupo de peces actuales, los osteictios o peces óseos, viven en medios dulces y marinos, pero sabemos que, evolutivamente, todos proceden de especies adaptadas al agua dulce. Por este motivo, su medio interno es hipotónico con respecto al agua del mar.

Este hecho no supone problema alguno para los peces de agua dulce, pero sí para los marinos, que pierden agua por las branquias y a través de cualquier superficie permeable. Para no morir de sed en el mar, estos peces beben agua marina y expulsan por las branquias las sales obtenidas, lo que conlleva un gasto energético. Además, poseen riñones –como todos los vertebrados– y concentran su orina.

Figura 8.1. Pez luna, el mayor pez óseo del océano. Los peces óseos marinos proceden de ancestros adaptados al agua dulce.

1. Hay pocas especies de peces capaces de vivir en medios marinos y continentales. Entre ellos figuran algunos tiburones, que suben los grandes ríos, y algunas especies óseas, como los salmones y las anguilas. ¿Por qué hay tan pocas especies capaces de adaptarse a estos dos hábitats acuáticos?
2. ¿Cuántas adaptaciones en sentidos opuestos han debido experimentar los peces óseos marinos en sus medios internos y sistemas excretores a lo largo de su evolución? ¿Y las ballenas?
3. Las ballenas no son peces, sino mamíferos, y como tales respiran por pulmones. Investiga: ¿cómo regulan estos animales marinos la concentración salina de su medio interno?
4. Los peces óseos marinos de la fotografía de la página anterior están expuestos a una pérdida constante de agua. ¿Por qué? ¿Cómo resuelven ese inconveniente?

Figura 8.2. Ballena jorobada.

Los peces marinos óseos y los cartilaginosos regulan de diferente manera su concentración osmótica interna.

1 El medio interno y los sistemas circulatorios

Claude Bernard y el medio interno

Claude Bernard fue un biólogo y médico francés que vivió entre 1813 y 1878. Sus trabajos fueron especialmente fecundos en el campo de la fisiología. A él le debemos el término "medio interno" con el que definió el líquido extracelular en el que viven inmersas las células del organismo. Bernard se dio cuenta de que las características físico-químicas principales de ese medio (la temperatura, el pH, la densidad o la concentración salina) debían mantenerse constantes. Esa idea de constancia es lo que hoy conocemos como homeostasis.

Una lección de Claude Bernard, de León Lhermitte.

Salvo las células animales que están en contacto directo con el exterior del cuerpo, el resto solo mantienen contacto con otras células adyacentes o con un fluido compuesto por agua y sales minerales, con el que se comunican e intercambian sustancias: es el **medio interno**. Las células toman de este medio interno las sustancias nutritivas y el oxígeno que necesitan para su respiración celular y expulsan a él los desechos. Del medio interno depende el equilibrio acuoso de las células, que obtienen o pierden agua según sea la relación entre las concentraciones del citoplasma y del medio extracelular.

Esto es suficiente para algunos animales marinos de estructura sencilla y tamaño reducido, como las esponjas y los cnidarios, formados por unos pocos tipos de células. Algunas de ellas obtienen su alimento directamente del exterior o bien de la cavidad gastrovascular: lo capturan, lo digieren intracelularmente y transfieren los nutrientes a otras células, bien de forma directa o a través del medio interno.

Los primeros invertebrados terrestres también presentan este sencillo esquema: pocos tipos celulares y un medio interno que resuelve sus problemas de intercomunicación.

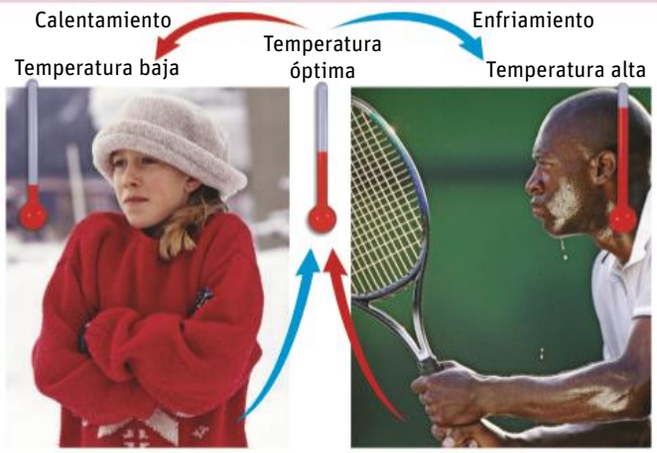
Según se hacían más complejos, los organismos fueron necesitando un sistema especializado de transporte de nutrientes, gases y residuos. Un sistema fluido que, al moverse, trasladara todo lo necesario de unas partes del cuerpo a otras. De este modo, la mayoría de los animales desarrollaron **sistemas circulatorios**.

ARGUMENTAR

5. Homeostasis y regulación

Los organismos más complejos presentan mecanismos para mantener constantes las características del medio interno. Es la homeostasis. La mayor parte de estos procesos reguladores son mecanismos de realimentación negativa, en los que la respuesta se dirige a contrarrestar el sentido del cambio percibido.

Un ejemplo es el mantenimiento de la temperatura corporal: si las condiciones ambientales alteran la temperatura óptima del cuerpo, se ponen en marcha unos mecanismos fisiológicos para recuperar y estabilizar los valores adecuados. Así, en los mamíferos, si la temperatura interior desciende, el organismo comienza a tiritar o a contraer los músculos para generar calor, y si la temperatura interior aumenta, el organismo produce sudor que, al evaporarse, absorbe calor del cuerpo y lo refresca.



a) Explica el funcionamiento de un mecanismo de control por realimentación negativa de la homeostasis interna referido al balance de agua del organismo. Ten en cuenta el mecanismo de formación de la orina en el riñón y la sensación de sed.

b) Haz lo mismo con el oxígeno de la sangre en relación con la frecuencia de la respiración o el ritmo de los latidos del corazón.

ACTIVIDADES

6. ¿Qué tres sistemas del cuerpo participan fundamentalmente en el mantenimiento de la homeostasis? Establece una relación entre ellos.

2 Funcionamiento básico de un sistema circulatorio

En los organismos pequeños y sencillos el transporte de sustancias se lleva a cabo por simple **difusión** o mezcla de las sustancias con el fluido que hay entre las células; sin embargo, eso no es suficiente cuando el organismo presenta cierto tamaño o mayor complejidad. Para mejorar el transporte aparecen los sistemas circulatorios.

En la mayor parte de los animales, además del circulatorio, aparecen otros sistemas que se comunican con el exterior: el sistema digestivo, el respiratorio y el excretor. El circulatorio se encarga del intercambio entre las células y esos otros sistemas. Así, el líquido circulatorio transporta sustancias entre ellos y las células.

Para que un sistema circulatorio funcione, son necesarios los siguientes elementos: un **fluido**, una **red de conductos** o **vasos** y una o varias **bombas propulsoras** (corazones o vasos contráctiles).

Para que desempeñe correctamente su función es necesario que la corriente circule en un solo sentido, lo que se logra gracias a la contracción de la bomba propulsora y a la existencia de **válvulas** que permiten el paso del fluido solo en ese sentido.

2.1. El líquido circulatorio

Se trata de un fluido en el que van disueltos o en suspensión tanto los nutrientes como los productos de excreción, ya sean gases, líquidos o sólidos. Aunque está constituido por agua con sales minerales, su composición depende de cada grupo animal y puede contener células, **pigmentos respiratorios** para transportar gases, etc.

Este líquido recibe diferentes nombres según sus características. Los principales son los siguientes (Fig. 8.3):

- **Hidrolinfa.** Se encuentra en algunos animales marinos, como las estrellas y los erizos de mar. Su composición es muy similar a la del agua marina, pero puede contener células transportadoras o fagocíticas.
- **Hemolinfa.** Es el fluido circulatorio de moluscos y artrópodos, parecido a la sangre de los vertebrados. Contiene células y puede presentar pigmentos respiratorios.
- **Sangre.** Es el fluido circulatorio presente en anélidos y vertebrados. Está formado por un líquido llamado plasma y contiene varios tipos de células y pigmentos respiratorios y circula por el sistema circulatorio.
- **Linfa.** Es un líquido circulatorio exclusivo de los vertebrados, encargado del transporte de lípidos. Deriva de la sangre –aunque no contiene glóbulos rojos– y circula por el sistema linfático, comunicado con el sanguíneo.

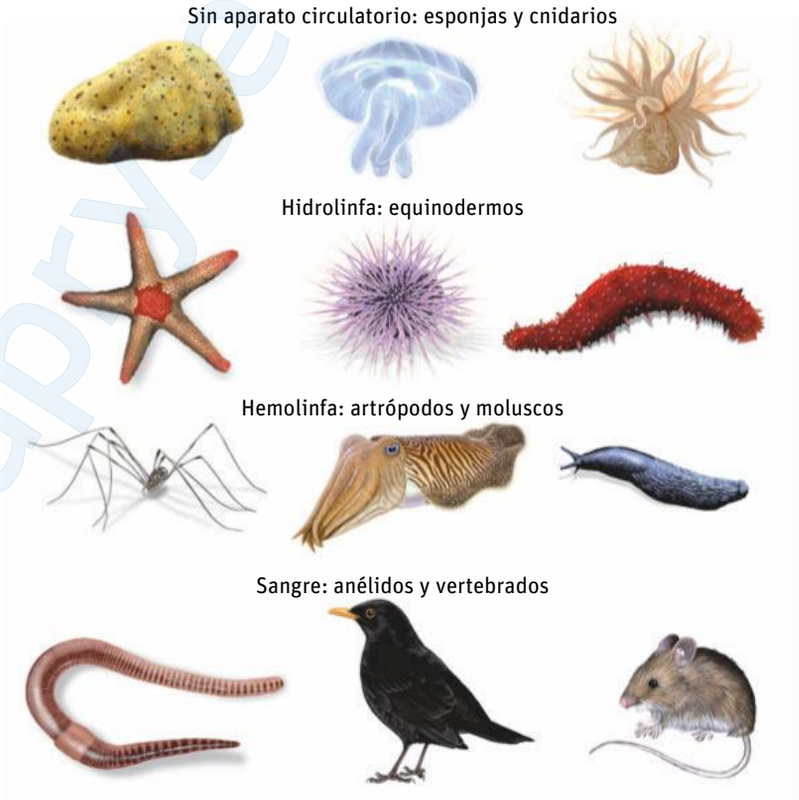


Figura 8.3. Líquidos circulatorios en los animales.

Los pigmentos respiratorios son proteínas unidas a un átomo metálico (Fe o Cu). Los más abundantes son las **hemoglobinas**, que contienen Fe, en vertebrados y muchos anélidos y las **hemocianinas**, que contienen Cu, en muchos moluscos y artrópodos.

ACTIVIDADES

7. La salinidad del medio interno y del líquido circulatorio de los animales acuáticos depende del agua en el que viven. Por ello, son incapaces de regular su homeostasis salina y se los conoce como "conformistas". Las estrellas de mar pertenecen a este tipo de animales. Si sumergimos una estrella de mar en el agua de un río, durante un largo tiempo, ¿qué le sucederá a su hidrolinfa? ¿Y a sus células?

8. ¿Por qué crees que la hemolinfa de los insectos carece de pigmentos respiratorios?

2.2. El sistema de conductos o vasos

Se trata de los conductos por los que viaja el líquido circulatorio. En muchos animales la red de vasos se extiende solo por una parte del cuerpo (**sistemas abiertos**); en otros, canalizan el fluido por todo el cuerpo (**sistemas cerrados**).

Los vasos reciben distinto nombre según la dirección del líquido: **arterias** son los que se dirigen desde el corazón hacia otros órganos; **venas** son los que van de retorno al corazón, y **capilares**, que son conductos muy finos a través de los cuales el fluido sale hacia el espacio intercelular o a las mismas células (Fig. 8.4).

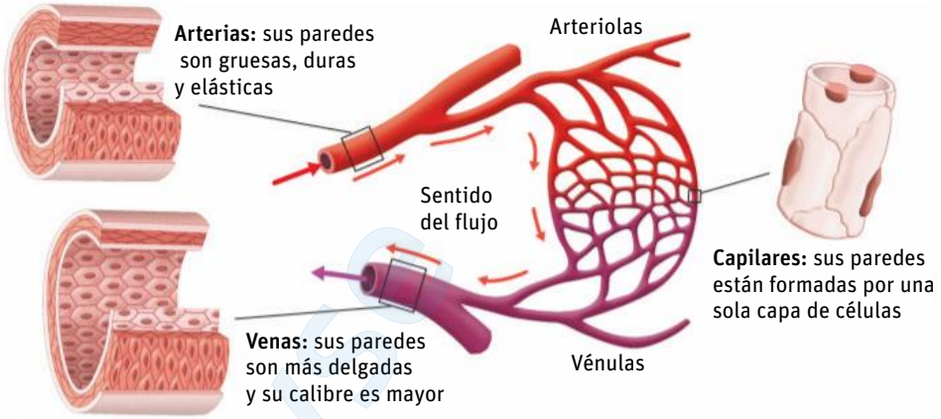


Figura 8.4. Tipos de vasos sanguíneos.

2.3. Bombas propulsoras, contráctiles o corazones

El elemento propulsor del circulatorio puede presentar diferentes formas:

- **Vasos contráctiles.** Son vasos con propiedades de contracción. Se presentan en anélidos.
- **Corazón tubular.** Constituido por una sola cámara contráctil en forma de tubo. Es característico de los artrópodos.
- **Corazón tabicado.** Está dividido en cámaras separadas. Las cámaras que reciben la sangre se denominan **aurículas** y aquellas desde las que sale, **ventrículos**. Es propio de los vertebrados, pero existe también en moluscos.

Los elementos propulsores presentan válvulas para dirigir el sentido del líquido.

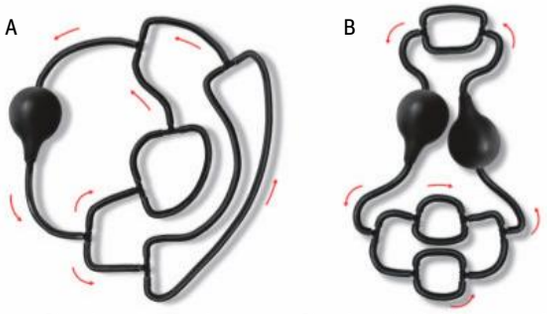
UTILIZAR UN MODELO

9. Construimos sistemas circulatorios

Conseguid perillas pulsátiles con válvula, un rollo de tubo flexible y piezas para hacer bifurcaciones. Construid modelos de sistemas circulatorios cerrados, introducid agua en la red de tubos y pulsad la perilla.

a) Si los tubos del circuito A se abrieran a espacios de los que partieran nuevos tubos de retorno hacia la perilla, ¿mejoraría el funcionamiento del sistema? ¿Qué tipo de sistema circulatorio sería?

b) ¿Qué ventajas supone el circuito B? Cita algún organismo donde exista algo parecido. ¿Están las dos "perillas" separadas o forman parte de un mismo órgano común?



Circulatorio simple (una válvula)

Circulatorio doble y completo (dos válvulas en un corazón)

ACTIVIDADES

10. ¿Puede un sistema circulatorio carecer de corazones o mecanismos de contracción? Justifica tu respuesta.

3 Las funciones del sistema circulatorio

Trampas con la sangre

El ciclista estadounidense Lance Armstrong ganó siete Tours de Francia entre 1999 y 2005. Sin embargo, en 2012 se demostró que durante aquellos años se había dopado sistemáticamente y fue desposeído de sus triunfos. Más tarde, reconoció haberse realizado transfusiones de sangre e inyectado hormonas, entre ellas testosterona y eritropoyetina (EPO), para mejorar su rendimiento.

Las transfusiones de sangre y la EPO provocan un aumento de la cantidad de glóbulos rojos y hemoglobina. Las transfusiones como técnica de dopaje suelen hacerse utilizando la propia sangre del deportista: una vez extraída y almacenada se inyecta antes de las pruebas. Las mejoras de las marcas deportivas se alcanzan pocos días después de las transfusiones, aunque el efecto desaparece al poco tiempo.

¿Ganaba Armstrong los Tours de Francia?

En los vertebrados más complejos los sistemas circulatorios pueden cumplir las siguientes funciones:

- **Transporte de nutrientes líquidos o sólidos** procedentes del sistema digestivo. En los vertebrados existe un sistema de transporte general, la sangre, y un sistema de transporte de grasas, el **sistema linfático**.
- **Transporte de gases.** Lleva el oxígeno del sistema respiratorio a las células y el dióxido de carbono de las células al respiratorio. Los gases suelen ir disueltos en el líquido circulatorio, pero algunos sistemas mejoran esta función mediante pigmentos respiratorios que se combinan con los gases y que pueden ir dentro de células. Este es el caso de la hemoglobina de los glóbulos rojos.
- **Transporte de sustancias de desecho** procedentes de las células y que son filtradas en los sistemas excretores que las expulsan al exterior.
- **Control de la homeostasis interna.** Las células necesitan unas condiciones estables de temperatura, concentración de sustancias o salinidad. Esa homeostasis se logra mediante mecanismos de control en los que el sistema circulatorio tiene un papel destacado.
- **Distribución de mensajes químicos u hormonas**, que participan en el control de las funciones del organismo.
- **Transporte y comunicación del sistema inmunitario.** Los elementos defensores del organismo son células (linfocitos) y moléculas (anticuerpos) que viajan por el interior del cuerpo a través del sistema circulatorio.
- **Cicatrización y cierre de heridas.** Los sistemas circulatorios complejos presentan mecanismos de taponamiento de las heridas, en los que intervienen la **vasoconstricción**, o estrechamiento de los vasos, y la **coagulación**, o solidificación de la sangre por formación de una red de proteínas fibrilares que atrapan plaquetas, proteínas y células.

En la Web

Observa el funcionamiento del sistema circulatorio de un pez.

www.e-sm.net/svbg1bach08_01

ACTIVIDADES

12. ¿De qué forma la testosterona y la EPO pueden aumentar el rendimiento deportivo? ¿Por qué crees que el ciclismo es uno de los deportes en los que este tipo de dopaje es más frecuente?

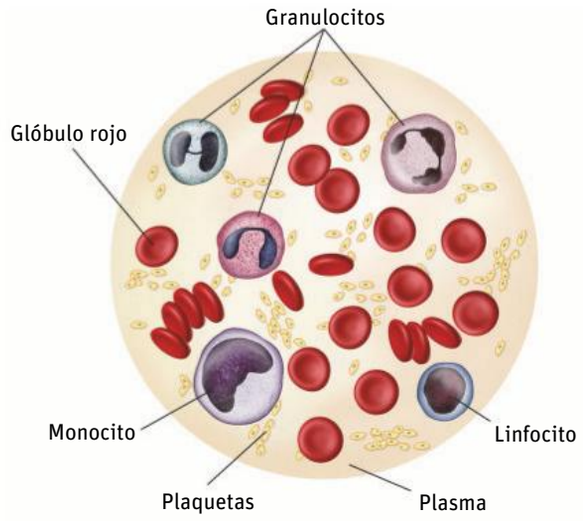
13. Investiga: ¿cómo se puede detectar este tipo de dopaje? ¿Qué pruebas son las indicadas para ello?

14. ¿Qué puede ocurrir cuando los microorganismos patógenos consiguen llegar a los vasos sanguíneos?

RELACIONAR

11. Células sanguíneas

Relaciona las funciones generales de los sistemas circulatorios complejos con cada uno de componentes de la sangre representados en el dibujo. Justifica cada una de las respuestas.



4 Los tipos de sistemas circulatorios

Los animales marinos más sencillos y los primeros invertebrados terrestres carecen de circulatorio y respiratorio. Sus células obtienen el alimento y los gases del exterior y los intercambian directamente entre ellas o a través de los fluidos intercelulares. Estos mecanismos presentan unas limitaciones que les obligan a la inmovilidad o a movimientos lentos, a dimensiones reducidas y a un metabolismo poco activo.

La aparición de sistemas circulatorios estuvo asociada al surgimiento de la respiración branquial, en los animales acuáticos, y traqueal o pulmonar, en los terrestres.

En los animales se consideran dos tipos de sistemas circulatorios: abiertos y cerrados.

4.1. Sistemas abiertos

El líquido sale en algunas zonas del cuerpo desde los vasos a las cavidades internas. Impulsado por el corazón, viaja en un sentido, con lo que aumenta su eficacia aunque su flujo es lento (Fig. 8.5). Lo presentan la mayoría de los artrópodos y moluscos.

En los artrópodos el sistema está en posición dorsal e impulsa la hemolinfa hacia delante. Los insectos, al presentar respiración traqueal, no necesitan pigmentos respiratorios, y su circulatorio solo transporta nutrientes y sustancias de desecho.

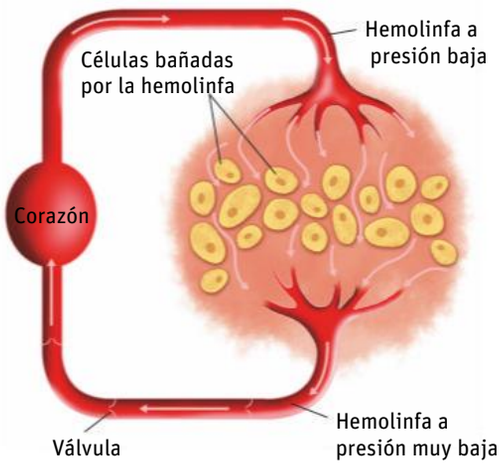


Figura 8.5. Esquema de circulación abierta.

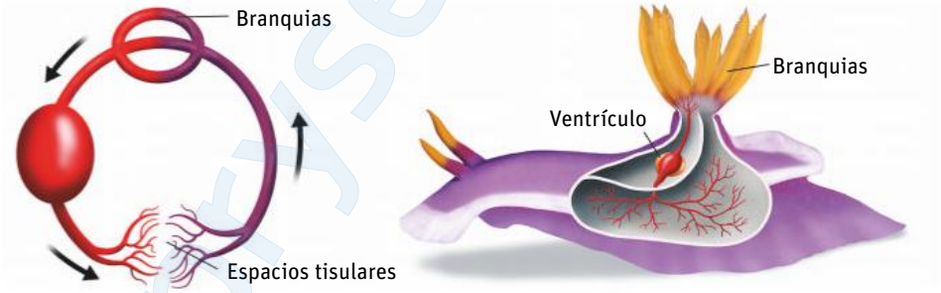


Figura 8.6. Sistema circulatorio abierto de un molusco no cefalópodo.

Salvo bivalvos y cefalópodos, cuyos sistemas son casi cerrados, el resto de moluscos presenta circulatorios abiertos. En los acuáticos, como caracolas marinas, mejillones y calamares, los vasos conducen la hemolinfa hasta las branquias, ya que su circulatorio sí transporta gases. Algo parecido sucede en los terrestres, como caracoles y babosas, aunque, en estos casos, son los pulmones los que se irrigan.

4.2. Sistemas cerrados

El líquido circulante se mueve dentro de un circuito cerrado de vasos (Fig. 8.7). Está presente en anélidos, algunos moluscos y vertebrados.

En la mayoría de los anélidos existen dos grandes vasos, uno dorsal y otro ventral, comunicados por asas laterales contráctiles que funcionan como corazones. La sangre discurre hacia delante por el vaso dorsal y en sentido inverso por el ventral.

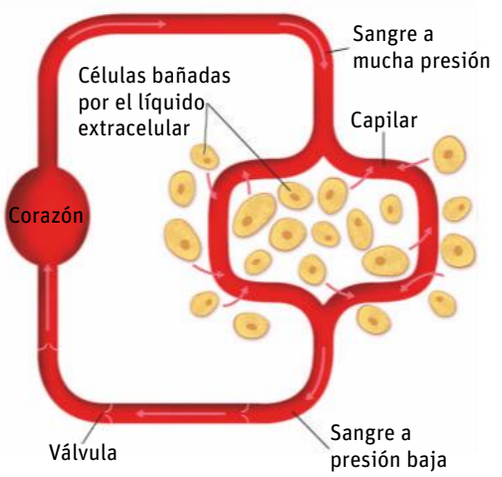


Figura 8.7. Esquema de circulación cerrada.

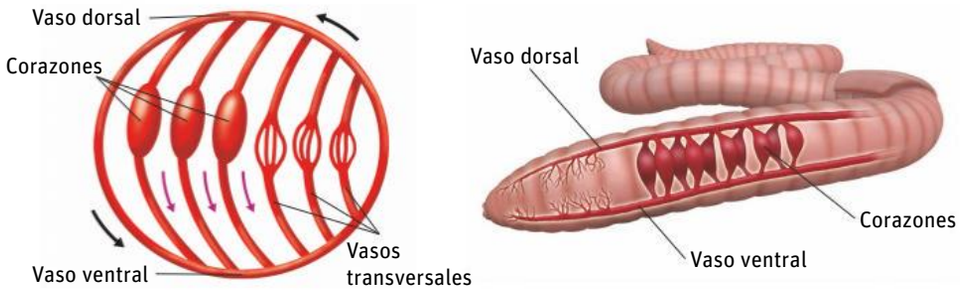


Figura 8.8. Sistema circulatorio cerrado de una lombriz de tierra.

En los vertebrados, los sistemas circulatorios se hacen más complejos y eficaces, lo que les permite un metabolismo mucho más activo y tamaños corporales mayores.

ACTIVIDADES

15. ¿En qué tipo de sistema circulatorio la sangre circula con una presión más alta? Justifica tu respuesta.

5 El sistema circulatorio en los vertebrados

Los vertebrados presentan dos sistemas circulatorios comunicados entre sí:

- **Sistema sanguíneo.** Es el sistema principal. Contiene la **sangre**, que se mueve impulsada por un corazón tabicado. Aunque se considera cerrado, parte de los componentes de la sangre (no los glóbulos rojos) pueden salir de los vasos al espacio intercelular. Con ello se controlan los líquidos intercelulares, su concentración molecular y la homeostasis interna.
- **Sistema linfático.** Es un sistema subsidiario. Conduce la linfa de retorno al corazón. La linfa se forma a partir del plasma y los glóbulos blancos de la sangre que se extravasan en los capilares sanguíneos; circula por los vasos linfáticos y recoge la mayor parte de los lípidos absorbidos en el intestino. Este sistema está conectado con los ganglios y órganos linfáticos y tiene un importante papel inmunitario. El sistema linfático desemboca en las venas de retorno al corazón.

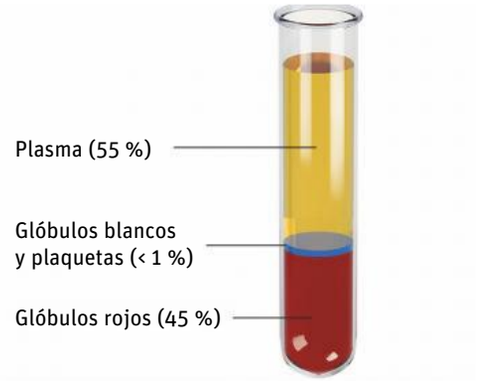


Figura 8.9. Composición de la sangre en vertebrados.

5.1. Tipos de circulación

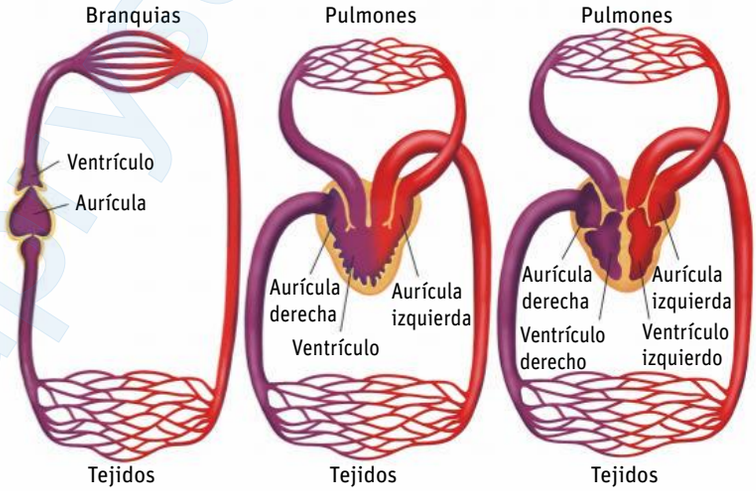
En los vertebrados, este sistema se ha ido complicando evolutivamente. Como sus principales funciones son transportar gases, por un lado, y nutrientes y desechos, por otro, se diferencian dos tipos de circulación, según cómo realizan esa doble tarea:

- **Circulación sencilla.** Solo hay un circuito, aunque está ramificado, de forma que cada bombeo del corazón impulsa la sangre tanto hacia el sistema respiratorio como hacia el resto de los órganos y sistemas.
- **Circulación doble.** Hay dos tipos de circuitos. Uno va desde el corazón al sistema respiratorio y otro se dirige hacia los demás órganos y sistemas del cuerpo. Estos dos circuitos pueden presentar una separación completa o incompleta en el corazón. En la circulación **doble incompleta** la sangre de ambos circuitos se mezcla en el corazón, ya que el ventrículo no está tabicado –o lo está de forma incompleta–, mientras que en la circulación **doble completa**, la sangre de los dos circuitos no se mezcla en el corazón, pues las dos cámaras anteriores o aurículas y las dos posteriores o ventrículos están tabicadas.

INTERPRETAR UN DIBUJO

16. Circulación en vertebrados

Estos esquemas representan los tipos de circulatorio en vertebrados:



a) Indica la dirección y sentido del flujo de la sangre en cada uno.

b) Señala las ventajas e inconvenientes de cada tipo de circulación.

5.2. El sistema circulatorio en los peces

Los peces presentan un **sistema circulatorio sencillo**. Su corazón es lineal y bicameral, con una sola aurícula y un único ventrículo. La sangre se dirige desde el corazón hacia las branquias para oxigenarse y luego continúa al resto del cuerpo (Fig. 8.10). Es un sistema menos eficaz que el de los vertebrados terrestres, de circulación doble.

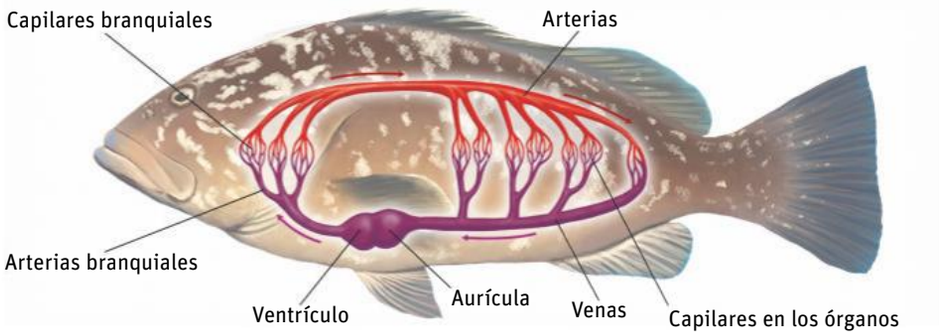


Figura 8.10. Sistema circulatorio sencillo en peces.

ACTIVIDADES

17. ¿Cuál es la principal diferencia celular entre la sangre y la linfa?

18. De acuerdo con esa diferencia, ¿qué función sanguínea no cumplirá la linfa en ningún caso?

5.3. Anfibios y reptiles no cocodrilianos

Los anfibios son el primer grupo de vertebrados terrestres, derivado de los peces. En ellos, la circulación es **doble**, con un **circuito pulmonar** o **menor** y otro **general** o **mayor** (Fig. 8.11).

El corazón presenta una tabicación interna con dos aurículas y un ventrículo de paredes musculosas. Es, por tanto, un corazón tricameral.

Debido a la ausencia de tabicación completa del ventrículo, la sangre de ambos circuitos puede mezclarse en el corazón, por lo que se trata de una **circulación doble incompleta**. Para evitar que haya mucha mezcla, las aurículas se contraen de forma sucesiva.

Es un sistema presente también en los reptiles (excepto en los cocodrilos), grupo de vertebrados derivado de los anfibios.

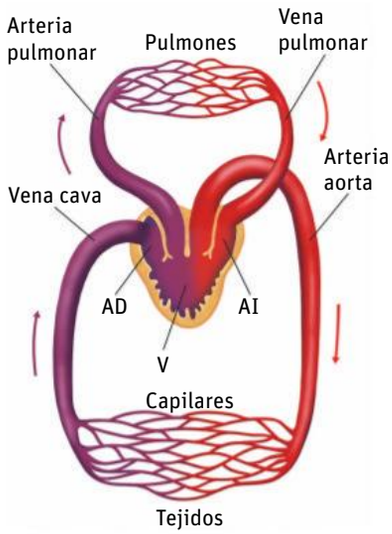


Figura 8.11. Circulación doble incompleta de anfibios.

5.4. Cocodrilos, aves y mamíferos

Presentan una **circulación doble completa**, con un circuito menor pulmonar y otro general. Su corazón está completamente tabicado, con cuatro cámaras: dos aurículas y dos ventrículos. Cada aurícula se comunica solo con el ventrículo de su lado, por lo que existen válvulas entre ellos para impedir el retorno de la sangre. Funciona como si hubiera dos corazones, uno para cada circuito (Fig. 8.12).

Los cocodrilos son el grupo de reptiles actuales más relacionado con los dinosaurios y las aves. Aunque no se conoce bien cómo era el corazón de los dinosaurios, el grupo del que proceden las aves, se especula que también era tetracameral.

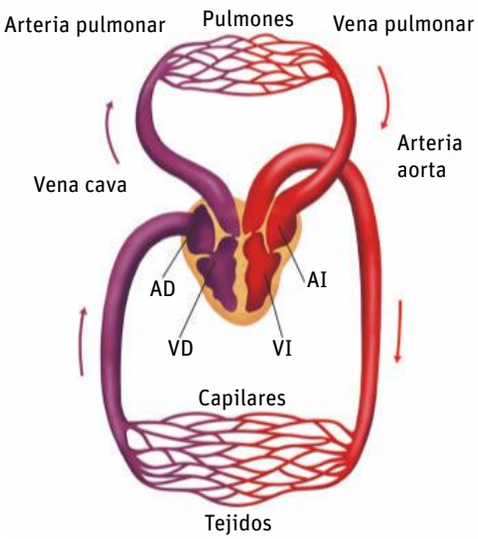


Figura 8.12. Circulación doble completa de cocodrilos, aves y mamíferos.

RELACIONAR

19. El corazón de los dinosaurios

En el año 2000, varios paleontólogos encontraron en el resto fósil de un dinosaurio del género *Thescelosaurus* una estructura con cuatro cámaras que interpretaron como un corazón con dos aurículas y dos ventrículos, lo que supuso una novedad en los estudios sobre estos animales.

En 2011, un nuevo trabajo sobre los mismos restos, con otras técnicas más avanzadas, puso en duda que dicha estructura fuese el corazón. La cuestión, pues, no está clara.

a) Si la primera interpretación fuera correcta, ¿a qué tipo de corazón de vertebrados actuales se asemejaría el de *Thescelosaurus*?

b) Ya que los dinosaurios son el grupo del que surgen las aves, escribe un texto sobre la relación evolutiva entre los reptiles actuales, aves, mamíferos y dinosaurios.

ACTIVIDADES

20. Consideremos un glóbulo rojo de la sangre de un mamífero que viaja por una arteria. ¿Irá o no su hemoglobina cargada de oxígeno? Justifica tu respuesta.

21. Un glóbulo rojo de la sangre de un ave acaba de regresar al corazón desde una vena que viene de una extremidad. ¿A dónde se dirigirá una vez que salga del corazón?

En la Web

Observa distintos sistemas circulatorios y corazones en diferentes grupos animales.

www.e-sm.net/svbg1bach08_02

6 El sistema circulatorio en los mamíferos

El corazón es el órgano propulsor de la sangre. Su funcionamiento exige la coordinación de su sistema de contracción y un ritmo constante. Sin embargo, el impulso del corazón con sus contracciones no es suficiente para que la sangre llegue a todos los órganos y retorne de nuevo, sobre todo en el caso de la circulación mayor. Los vasos sanguíneos contribuyen también al movimiento del flujo de la sangre.

6.1. El corazón

El corazón de los mamíferos consta de dos aurículas de paredes finas y dos ventrículos, más musculosos. Cada aurícula se comunica con el ventrículo de su lado a través de una abertura regulada por una **válvula auriculoventricular**: la **mitral** y la **tricúspide**. A la salida de los ventrículos están las **válvulas sigmoideas**: la **aórtica** y la **pulmonar**. El sistema de válvulas impide el retorno de la sangre (Fig. 8.13).

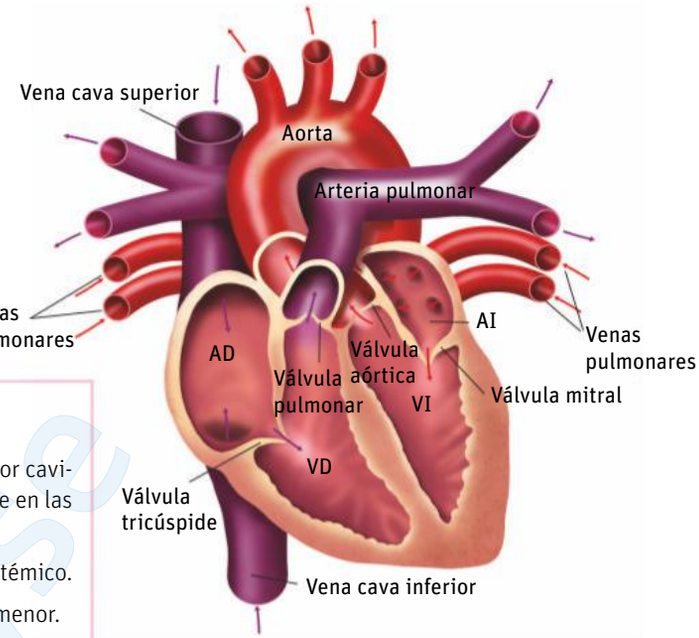


Figura 8.13. Corte transversal del corazón de los mamíferos.

INTERPRETAR UN DIBUJO

22. La importancia de las válvulas

Observa el dibujo del corazón y describe secuencialmente el paso de la sangre por cavidades y válvulas a través de este órgano y su salida por la arteria correspondiente en las dos situaciones posibles:

a) Cuando la sangre entra en el corazón por las venas cavas, desde el circuito sistémico.

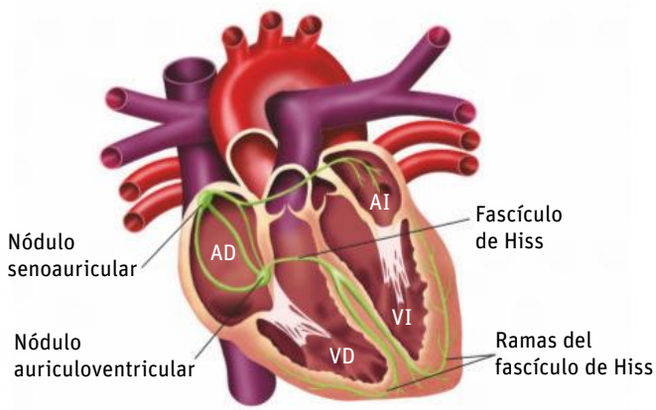
b) Cuando la sangre entra en el corazón por la vena pulmonar, desde el circuito menor.

El latido cardiaco

Se denomina **sístole** a la contracción muscular de las paredes del corazón y **diástole** a su relajación. Aunque el impulso fundamental es el del ventrículo, existen sístoles (y diástoles) auricular y ventricular. Para que el mecanismo del latido funcione es necesario que las sístoles auriculares y las diástoles ventriculares coincidan.

PROPAGACIÓN DEL LATIDO CARDIACO

1. En la pared muscular de la aurícula derecha existe una zona denominada **nódulo senoauricular** que genera los impulsos eléctricos rítmicos causantes de la contracción del músculo cardiaco. Se trata de un auténtico "marcapasos" y es una característica exclusiva de este tipo de músculo.
2. El impulso se propaga a ambas aurículas, que se contraen simultáneamente, y llega al **nódulo auriculoventricular**, donde la transmisión se retiene 0,1 segundos.
3. Al instante, el impulso avanza muy rápido por unas fibras musculares especializadas, o **fascículo de His**, y alcanza la parte distal de los ventrículos, desde donde se reparte al conjunto de los músculos que los tapizan, consiguiendo una sístole ventricular simultánea y distanciada de la auricular.



ACTIVIDADES

23. ¿Qué ocurriría si no se produjese el retraso en el impulso eléctrico que determina la contracción cardiaca a la altura del nódulo auriculoventricular?

24. Busca información sobre estas dolencias cardiacas y explica en qué consisten: infarto de miocardio, arritmia, insuficiencia cardiaca y paro cardiaco.

En la Web

Observa el recorrido de la sangre en el interior de un corazón y el funcionamiento de las válvulas.

www.e-sm.net/svbg1bach08_03
www.e-sm.net/svbg1bach08_04

Oryse

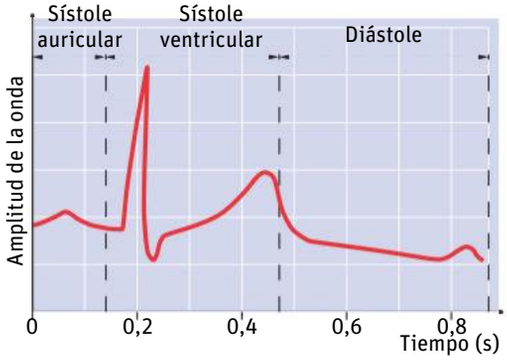


Figura 8.14. El electrocardiograma es la representación gráfica de la actividad eléctrica del corazón.

En la Web

Observa cómo se dibuja el electrocardiograma en relación con el funcionamiento del latido cardiaco.

www.e-sm.net/svbg1bach08_05
www.e-sm.net/svbg1bach08_06

Observa la complejidad y coordinación del ciclo cardiaco.

www.e-sm.net/svbg1bach08_07

Regulación y frecuencia cardiaca (pulsaciones)

El funcionamiento rítmico del nódulo senoauricular determina la frecuencia cardiaca, es decir, el número de latidos por minuto. Su valor es bastante variable, dependiendo de la edad, el sexo y, sobre todo, de la actividad. En condiciones normales, con una frecuencia cardiaca en reposo, el corazón humano bombea unos 4-6 litros de sangre por minuto; sin embargo, en condiciones de ejercicio intenso puede aumentar hasta seis veces.

La frecuencia cardiaca está también bajo control del sistema nervioso autónomo o no voluntario. Eso quiere decir que determinados estímulos pueden acelerar o reducir el ritmo cardiaco actuando sobre el nódulo senoauricular. Esos estímulos pueden ser internos, como la presión sanguínea, la temperatura, el pH o el CO_2 de la sangre; y externos, como el estrés, la ansiedad o los estados de alerta o miedo.

La alteración de la frecuencia cardiaca se conoce como **arritmia**; cuando hay un aumento de la frecuencia se habla de **taquicardia**, y si se trata de una reducción, de **bradicardia**.

6.2. La presión sanguínea

La sangre, como cualquier fluido, ejerce una presión sobre las paredes del conducto que lo contiene. Debido a las contracciones de los ventrículos, la sangre sale impulsada a las arterias en forma de onda que aumenta la presión sobre las paredes elásticas de los vasos. Así, en una arteria se pasa de un momento de máxima presión –cuando llega la onda de flujo debida al impulso cardiaco– a un período de mínima presión, en el momento entre dos ondas. Son la **tensión máxima** y **mínima**.

Para conseguir que la sangre llegue a los capilares son suficientes el impulso de la contracción ventricular y el carácter elástico de las paredes arteriales. Sin embargo, en los capilares la presión es ya muy débil y el impulso cardiaco apenas tiene efecto. ¿Qué impulsa a la sangre a retornar al corazón por las venas, a veces en contra de la gravedad, como desde nuestros pies o desde las patas de las jirafas?

Para facilitar el retorno de la sangre, las venas se localizan entre los músculos de las piernas, de modo que la contracción muscular ejerce una compresión constante sobre estos vasos. Además, en las venas existe un sistema de pequeñas válvulas, que impiden el retroceso de la sangre.

INTERPRETAR UNA GRÁFICA

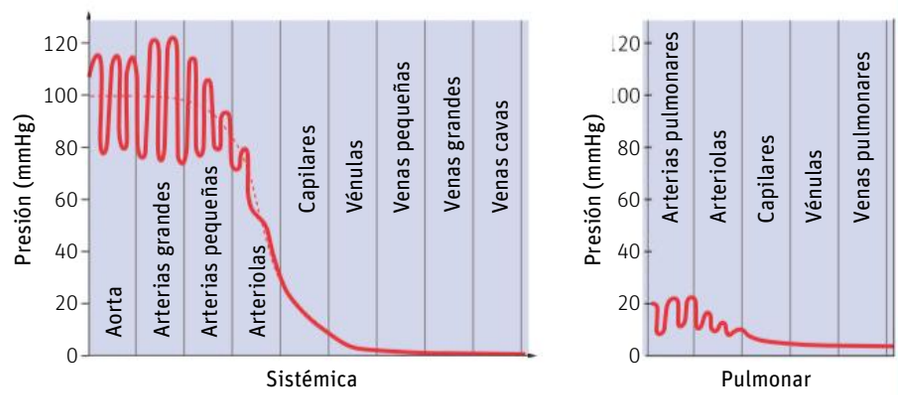
25. La presión de la sangre en los vasos

La presión que ejerce la sangre en los diferentes vasos varía considerablemente.

El gráfico muestra algunos valores de la presión sanguínea. Puede observarse que la fluctuación entre las máximas y las mínimas se produce solo en algunas partes del sistema circulatorio y, además, de forma diferente.

a) Explica las fluctuaciones en unas partes del sistema de vasos y su ausencia en otras.

b) ¿Qué zonas son las mejores para tomar el pulso?



ACTIVIDADES

26. ¿Por qué crees que no es conveniente permanecer de pie sin moverse durante mucho tiempo, mientras que es beneficioso caminar o hacer ejercicio?

6.3. La circulación y la salud

La frecuencia y la tensión muestran valores bastante variables en función del sexo, la edad, la actividad o el estado de alerta del organismo. Además están relacionadas con la salud y la forma física general. Por ello, estos dos parámetros son habitualmente medidos en los análisis médicos y deportivos.

LA CIENCIA Y SUS MÉTODOS

Análisis de pruebas médicas (frecuencia cardiaca y tensión)

La frecuencia cardiaca

Se puede medir con un **fonendoscopio**, escuchando los latidos del corazón o tomando el pulso. Los valores normales están entre 60 y 100 latidos por minuto, pero la práctica habitual de ejercicio físico suele reducirlos. Para tomar el pulso se debe proceder del siguiente modo:

1º. Se elige una arteria que pueda presionarse sobre cartílago o hueso. Suele hacerse sobre la parte interior de la muñeca o bajo el pulgar. También se puede medir en el cuello, sobre la arteria carótida, aunque ahí debe presionarse muy ligeramente para evitar cortar el riego a la cabeza o que se reduzca el latido.

2º. Se utilizan los dedos índice y corazón para sentir el pulso. Para medir la pulsación de otra persona se desaconseja utilizar el pulgar, ya que se puede confundir con la pulsación propia, que se percibe bastante en ese dedo.

3º. Se cuentan los impulsos en un minuto (o medio minuto y se multiplica el valor por dos).

Las pulsaciones tomadas inmediatamente tras un ejercicio físico muy intenso dan una idea de la frecuencia cardiaca **máxima**, que suele ser de 226 menos la edad, en el caso de las mujeres, y de 220 menos la edad, en el caso de los hombres. Si se espera un minuto y se vuelven a tomar, habrán bajado bastante: esta diferencia es el **índice de recuperación cardiaca** y suele estar entre 30 y 50 pulsaciones.

La tensión

La tensión se mide en mmHg con un **tensiómetro** automático. Este aparato dispone de un brazalete que se ajusta a la muñeca y, al pulsar un botón, se infla oprimiendo las arterias. Luego se desinfla lentamente. El tensiómetro toma los valores de presión máxima y mínima. La medición es similar a la que realizan los médicos con el **esfigmomanómetro**. En ambos casos el procedimiento supone una secuencia de pasos:

1º. Se aumenta la presión del brazalete sobre el brazo o la muñeca hasta unos 200-220 mmHg, presión a partir de la cual se cortan las pulsaciones arteriales. En el método manual esto se detecta auscultando con un fonendoscopio en el antebrazo.

2º. Se libera lentamente la presión del brazalete, de modo manual o automático hasta que se detectan las pulsaciones o se oyen a través del fonendoscopio, respectivamente. El valor en el que reaparecen es la **presión sistólica** o **máxima**.

3º. Se continúa aflojando poco a poco la presión del brazalete hasta que las pulsaciones o sonidos se desvanecen por completo cuando la arteria recupera su calibre normal. Ese es el valor de la **presión diastólica** o **mínima**.

Son valores normales, para las máximas, 100-140 mmHg y para las mínimas, 60-90 mmHg.

ACTIVIDADES

27. ¿Qué relación existe entre el índice de recuperación cardiaca y el estado físico de una persona?

28. ¿Qué presión mide el tensiómetro cuando llega el flujo de la sístole ventricular?

29. Investiga sobre las causas y los efectos de la hipertensión arterial.

7 La excreción animal

El metabolismo animal genera productos de desecho. Algunos son utilizados como sustratos de otras rutas metabólicas, pero siempre hay sustancias de las que es preciso deshacerse.

Dependiendo del medio de vida del animal y de su metabolismo existen diferentes sistemas excretores que han ido perfeccionándose a lo largo de la evolución.

7.1. Productos de excreción animal

Entre las sustancias de desecho hay dos especialmente importantes:

- **El dióxido de carbono.** Es transportado por el sistema circulatorio hasta el respiratorio, desde donde sale, por difusión, al aire o al agua circundante. De este modo, el respiratorio ejerce la función de excreción de gases.
- **Los productos nitrogenados**. Derivan fundamentalmente del catabolismo de las proteínas y los ácidos nucleicos y presentan cierta toxicidad. Entre ellos destacan el amoniaco, la urea y el ácido úrico:

DESECHOS NITROGENADOS

Amoniaco. Es el producto inicial de la degradación de los aminoácidos.

Es muy tóxico, por lo que se requiere gran cantidad de agua para diluirlo y eliminarlo. Es un producto de excreción presente solamente en animales acuáticos, como la mayoría de los peces e invertebrados marinos. Estos animales se denominan **amoniotélicos**.

Urea. Es un producto de la transformación del amoniaco. Menos tóxico que este, también requiere su disolución en la sangre y en la orina, lo que implica pérdida de agua.

La urea es el producto de excreción de anfibios y mamíferos. Los animales que eliminan urea se denominan **ureotélicos**.

Ácido úrico. Procede también del amoniaco. Es poco tóxico y precipita en forma de cristales o sales poco solubles, por lo que se elimina en forma semisólida.

El ácido úrico es el producto de excreción de insectos, reptiles terrestres y aves. Se llaman animales **uricotélicos**.

7.2. Balance hídrico y control osmótico del medio interno

La dilución de los productos nitrogenados en agua, así como la necesidad de regular la cantidad de este líquido y de las sales disueltas, hacen que el balance hídrico y el control osmótico del organismo estén muy relacionados con el sistema excretor.

Básicamente existen tres situaciones al respecto:

- **Los animales acuáticos marinos.** Muchos invertebrados no tienen problema alguno, ya que su medio interno tiene la misma concentración osmótica que el mar, y sus superficies corporales son permeables.

  Los peces óseos, sin embargo, tienen un medio interno menos salino que el mar, lo que les hace perder agua y ganar sales constantemente. Reponen el agua bebiendo del mar y eliminan el exceso de sales gastando energía y expulsándolas activamente por las branquias, en el intestino y en el riñón. Los peces cartilaginosos presentan un medio interno isotónico respecto al agua del mar.
- **Los animales de agua dulce.** Tienen el problema inverso: ganan agua constantemente y deben evitar perder sales. Para ello, los peces dulceacuícolas absorben activamente iones por sus branquias y se deshacen del exceso de agua generando una orina muy diluida en su riñón.
- **Los animales terrestres.** Su problema fundamental es la pérdida de agua por la orina y por evaporación a través de las superficies del cuerpo. La solución radica en beber agua o generarla metabólicamente a partir de la oxidación del alimento (de hecho, algunos animales del desierto no beben nunca agua líquida).

ACTIVIDADES

30. ¿Qué ventajas e inconvenientes fisiológicos presentan las tres formas de excreción del nitrógeno?

31. ¿En qué se diferencia la orina de los peces de agua dulce de la de los peces de agua salada en cuanto a cantidad de agua y concentración de sales?

32. Investiga: ¿qué es el guano y para qué lo utilizamos?

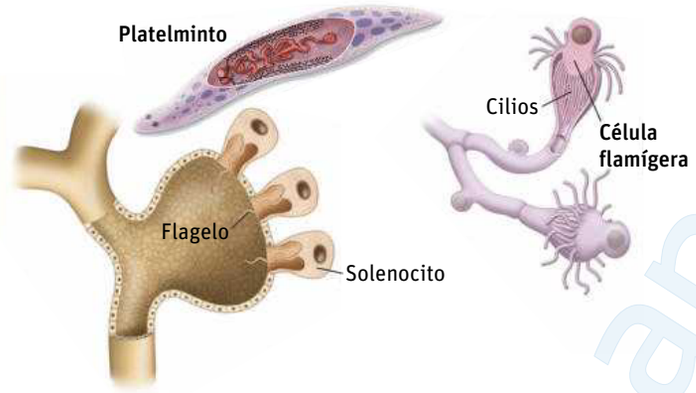
7.3. Evolución de los sistemas excretores

Los sistemas excretores presentan una complicación evolutiva que podemos resumir en tres fases:

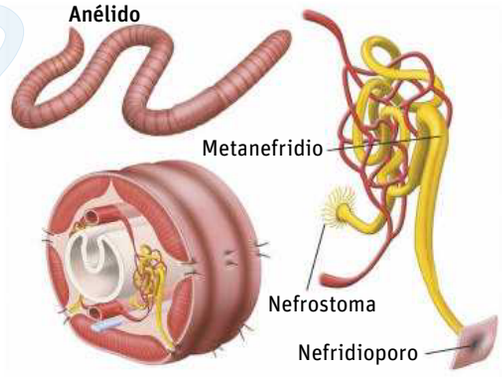
- **Animales sin sistema excretor.** Los animales más sencillos (esponjas y cnidarios) carecen de sistema excretor, por lo que la eliminación de desechos se produce directamente desde las células al exterior.
- **Sistema excretor de invertebrados.** En la evolución de los invertebrados aparecen los **nefridios**, un sistema sencillo constituido por pequeños túbulos que comunican con el exterior por un poro. La innovación de los sistemas excretores en los artrópodos contribuyó a su notable éxito evolutivo.

SISTEMAS EXCRETORES EN INVERTEBRADOS

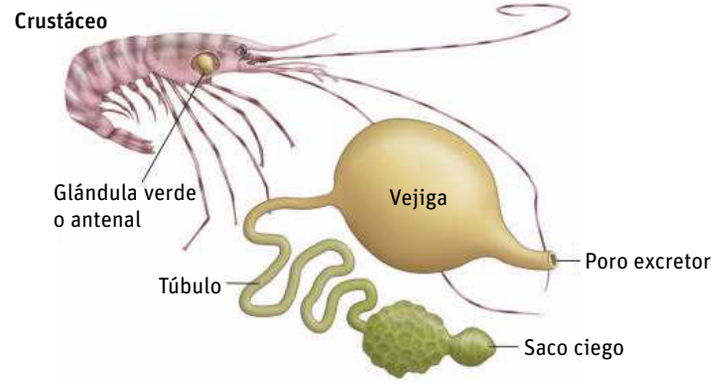
Protonefridios. Es propio de los gusanos planos. Los desechos pasan desde el medio interno a unos túbulos ramificados que terminan en unas células ciliadas (**células flamígeras**) o flageladas (**solenocitos**). El movimiento de los cilios y los flagelos impulsa el líquido excretor por el sistema de tubos hacia los poros excretores.



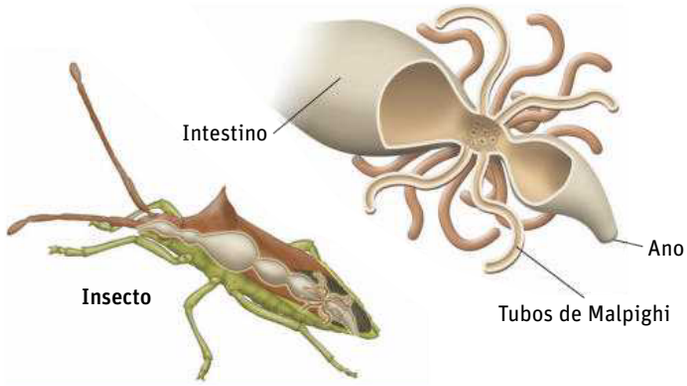
Metanefridios. En los invertebrados más complejos, como los anélidos o los moluscos, el nefridio se vuelve más sofisticado: el extremo interior se abre en un embudo a la cavidad general del cuerpo, mejorando, así, la salida de fluido; además, el túbulo se rodea de un sistema de vasos circulatorios para reabsorber agua y sales, y formar la orina.



Glándulas verdes. Los crustáceos tienen un par de glándulas situadas en la base de sus antenas, en la cabeza. Constan de un saco ciego esponjoso que filtra el líquido del medio interno, al que sigue un túbulo para la reabsorción de agua, sales y sustancias aprovechables, y una vejiga con un orificio de salida situado en la base de las antenas.



Tubos de Malpighi. Los insectos y las arañas presentan tubos ciegos ramificados, sin vascularización, que desembocan en el tubo digestivo. Sus paredes capturan iones y moléculas del medio interno por difusión y transporte activo, arrastrando agua por ósmosis. Ya en el intestino se reabsorbe agua y precipita el ácido úrico, que se elimina.



- **Sistema excretor de vertebrados.** Los vertebrados presentan un sistema excretor basado en un par de **riñones**, en los que se forma la orina por filtrado y reabsorción de la sangre. En reptiles, aves y mamíferos, la orina va por los uréteres hasta una vejiga, desde donde sale al exterior por la uretra. Además, existen otros sistemas de excreción: las branquias en los peces, las glándulas de la sal en algunas aves y reptiles, y el hígado y las glándulas sudoríparas en los mamíferos.

8 El riñón en los mamíferos

Además de los riñones, el sistema excretor de los mamíferos incluye los tubos de salida (**uréteres** y **uretra**) y una **vejiga** de almacenamiento temporal de la orina.

Los riñones están formados por unos dos millones de **nefronas**, unidades anatómicas y funcionales donde se forma la orina, además de los tubos de salida de esta y las arterias y las venas renales que transportas la sangre hacia y desde estos órganos. Estas estructuras se disponen de forma ordenada en capas observables en el corte longitudinal de un riñón (Fig. 8.16):

- **Corteza.** De un centímetro de grosor y aspecto granuloso. Presenta prolongaciones hacia el interior denominadas columnas renales.
- **Médula.** De aspecto estriado, se divide en secciones de forma cónica, llamadas pirámides renales o de Malpighi.
- **Pelvis renal.** Formada por la salida del uréter, es la zona por donde se expulsa la orina y confluyen la arteria renal y la vena renal.

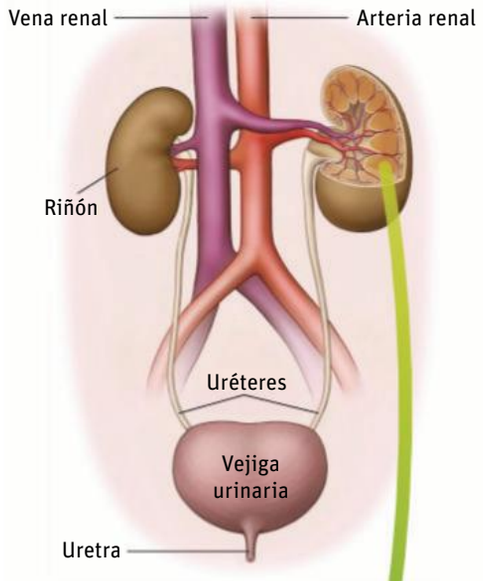


Figura 8.15. Sistema excretor.

8.1. La nefrona

La nefrona es un tubo sinuoso rodeado de un capilar sanguíneo, encargado de filtrar la sangre y producir la orina. En ella se distinguen varias partes: la cápsula de Bowman, el túbulo contorneado proximal, el asa de Henle y el túbulo contorneado distal.

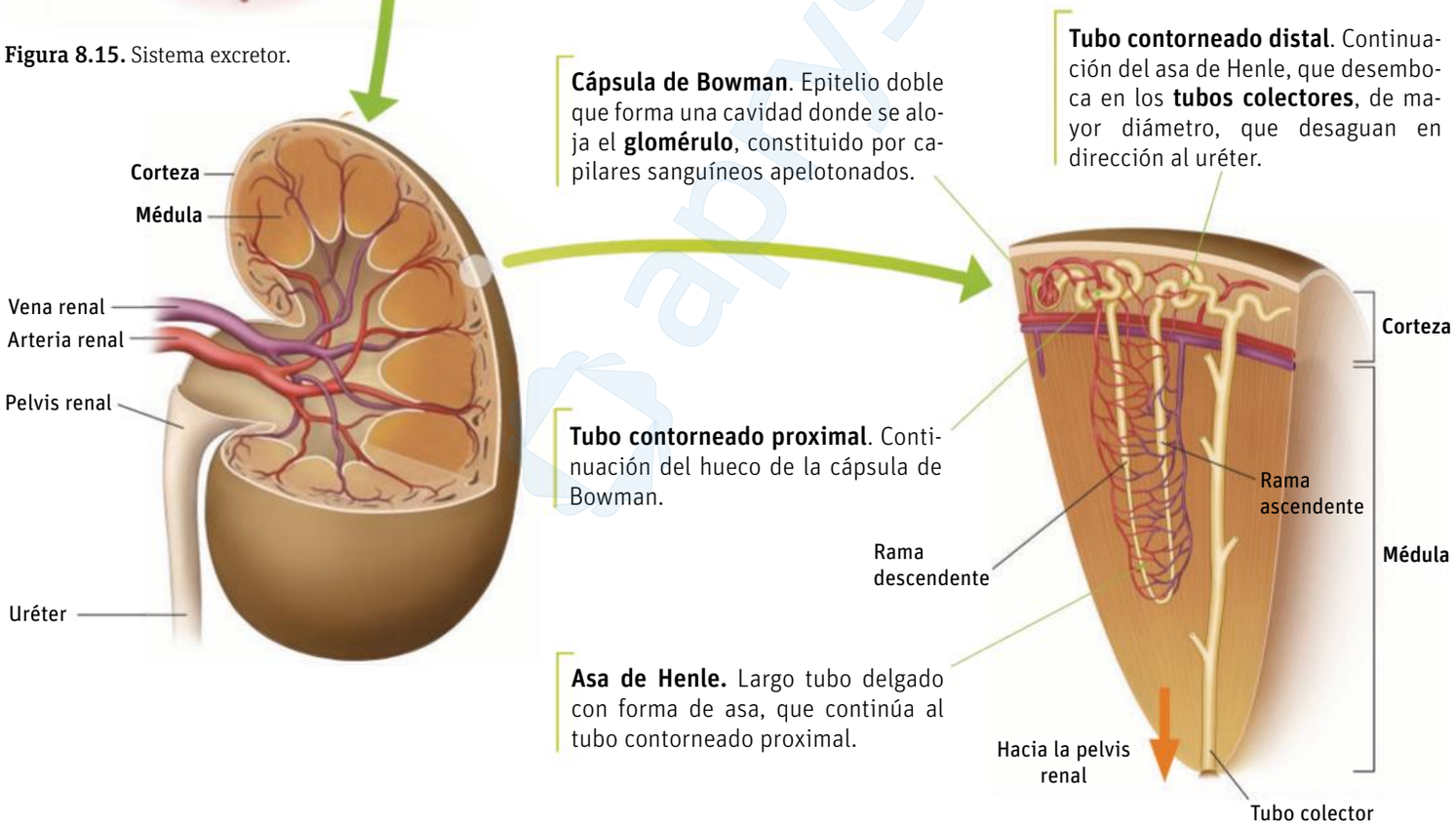


Figura 8.16. Sección longitudinal de un riñón con la localización y la estructura de una nefrona.

ACTIVIDADES

33. La vena cava inferior se ramifica en las venas renales, y la aorta se ramifica en las arterias renales. ¿Cuáles de estos vasos entran a los riñones y cuáles salen de ellos?

34. Relaciona cada una de las zonas del riñón con los diferentes conductos y elementos de las nefronas y los tubos renales.

En la Web

Observa esta animación interactiva sobre la nefrona.

www.e-sm.net/svbg1bach08_08

8.2. El funcionamiento del riñón

Cada nefrona es una unidad formadora de orina. El mecanismo se basa en la filtración de la sangre y la posterior reabsorción de todo lo que es útil al organismo. Se pueden diferenciar los siguientes procesos (Fig. 8.17):

- **Filtración glomerular.** La sangre llega al riñón por la arteria renal, que se ramifica y entra en la cápsula de Bowman de cada nefrona por una arteriola aferente. Dentro, el capilar forma el glomérulo. La diferencia de presión entre la sangre del glomérulo y la del espacio de la cápsula de Bowman origina el ultrafiltrado de un líquido parecido al plasma (sangre sin eritrocitos ni proteínas), que pasa al túbulo contorneado proximal.
- **Reabsorción tubular.** El filtrado glomerular contiene iones y moléculas de interés que no conviene eliminar. Para recuperarlos, se produce una reabsorción en los túbulos proximal y distal, mediante transporte activo y difusión.

  La reabsorción tubular recupera la práctica totalidad de la glucosa de la orina, mientras que los iones minerales se reabsorben en función de su cantidad en la sangre en ese momento. La reabsorción presenta una regulación hormonal.
- **Secreción tubular.** Consiste en el paso activo de sustancias desde la sangre de los capilares hasta el túbulo contorneado distal que rodean. Esto aumenta la concentración en la orina de sustancias que interesa eliminar. Así, se eliminan hidrógeno, potasio, sustancias tóxicas, etc.
- **Recuperación de agua.** En nuestros riñones, los glomérulos filtran unos 200 L de sangre al día. La pérdida de agua que esto supone no es tolerable, por lo que debe recuperarse en su mayoría.

  Esta recuperación de agua tiene lugar por ósmosis: las paredes de la rama descendente del asa de Henle son semipermeables y las de la rama ascendente son impermeables, pero sacan activamente NaCl de la orina en formación. Esto genera un gradiente de concentración salina en la médula, que aumenta con la profundidad. En consecuencia, el agua sale por ósmosis de la rama descendente, según se introduce en la zona hiperosmótica, y pasa a la sangre.

  Los tubos colectores, al entrar en la médula, camino del uréter, recuperan más agua (y otras moléculas, como urea) por ósmosis.

  Las necesidades corporales en cada momento exigen eliminar más o menos agua, por lo que el balance hídrico corporal se controla desde el riñón mediante regulación hormonal.

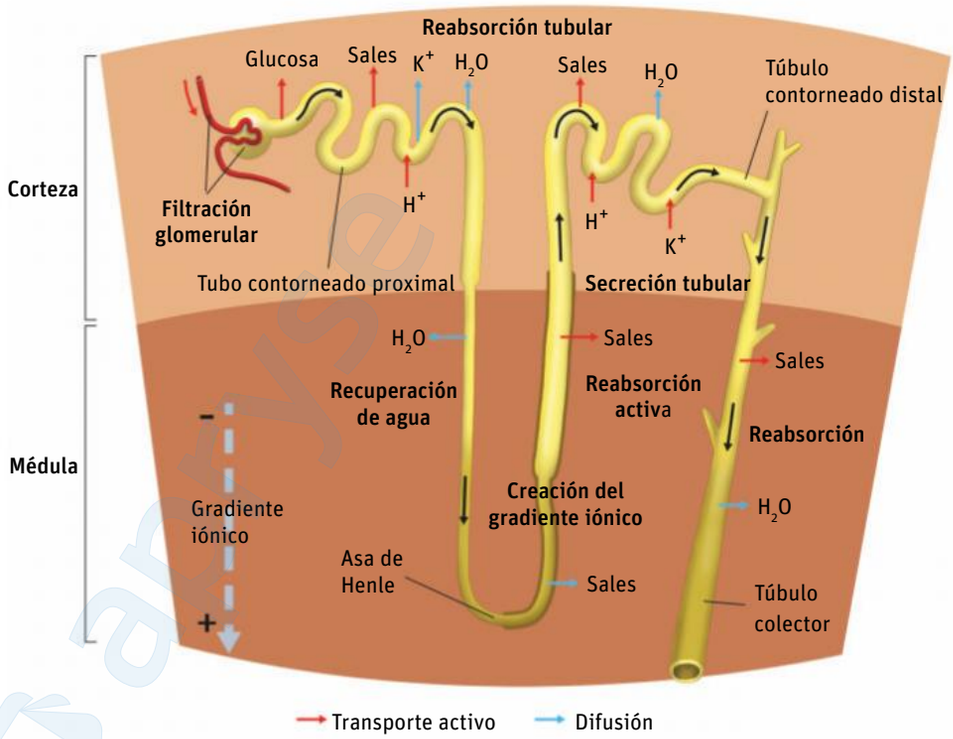


Figura 8.17. Mecanismo de la formación de la orina en la nefrona.

smSaviadigital.com COMPRENDE
En esta animación puedes ver el funcionamiento del riñón.

En la Web

Observa cómo se produce la formación de la orina.

www.e-sm.net/svbg1bach08_09

ACTIVIDADES

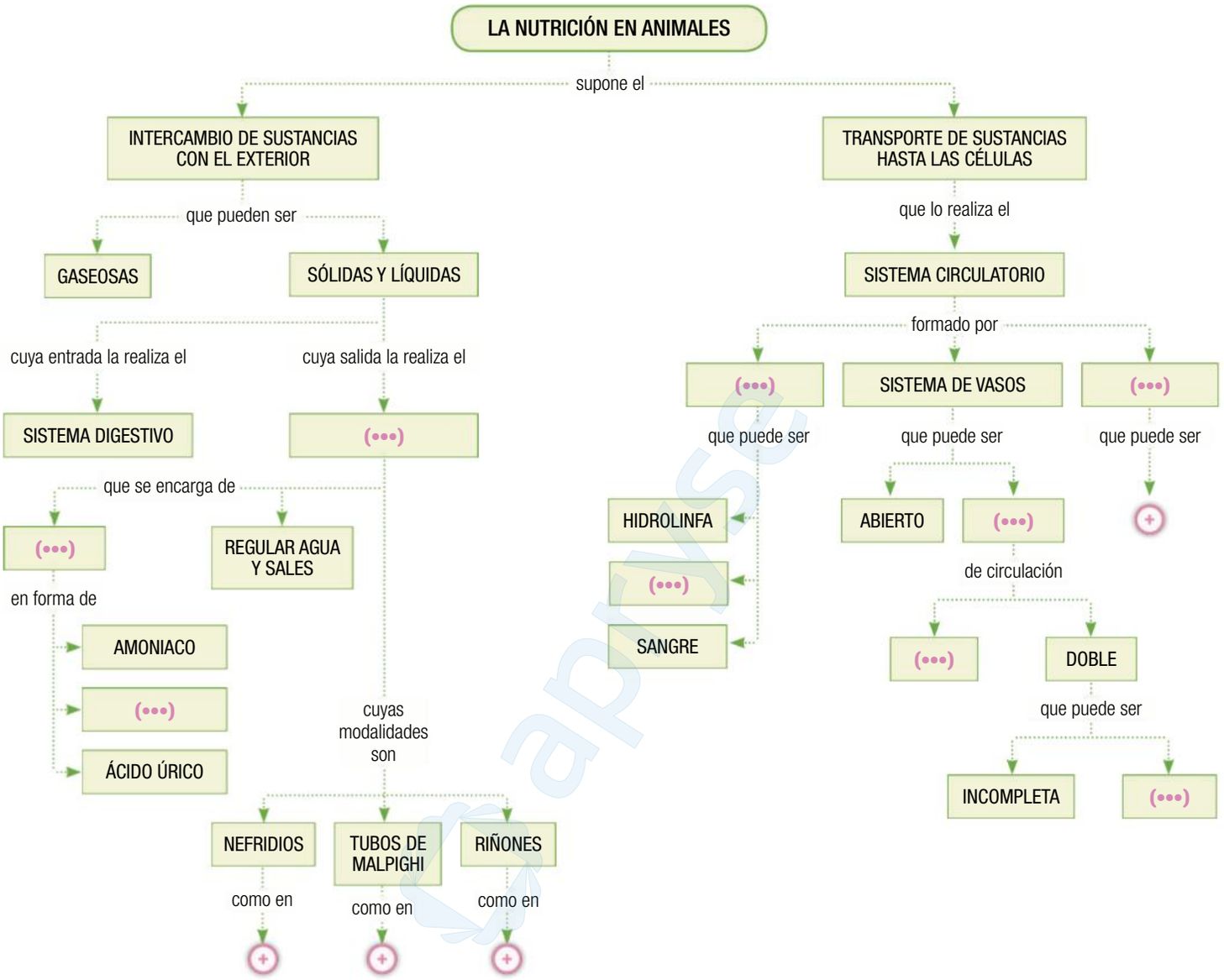
35. ¿Qué ocurriría si las paredes de la rama descendente del asa de Henle fueran impermeables?

36. ¿Cómo afecta el control hormonal de las permeabilidad de las pareces del tubo colector a la orina formada?

ACTIVIDADES

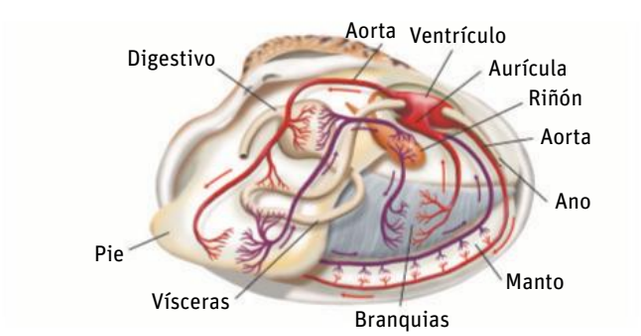
Síntesis

37. Completa en este mapa conceptual los términos que faltan (•••) y los fragmentos que debes desarrollar ⊕. Puedes realizar la actividad en tu cuaderno.



Aplicación y relación

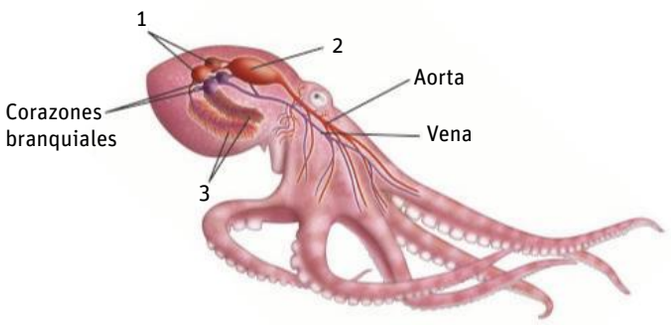
38. El esquema ilustra el sistema circulatorio de una almeja.



a) Describe el recorrido de la hemolinfa a partir del corazón.

b) Explica lo que ocurre en cada una de las zonas por las que pasa la hemolinfa a lo largo de los circuitos representados.

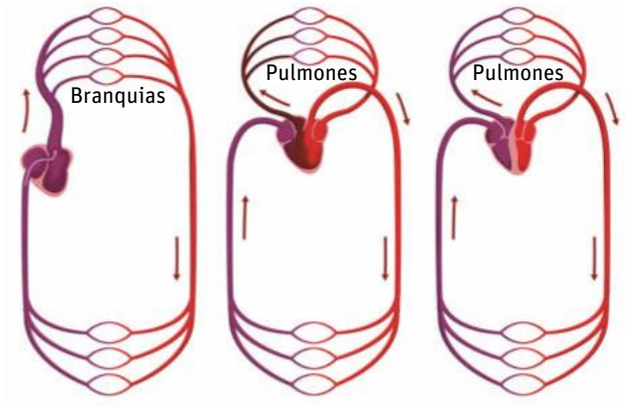
39. Observa el sistema circulatorio de un molusco cefalópodo.



a) Describe este sistema y define el tipo al que corresponde.

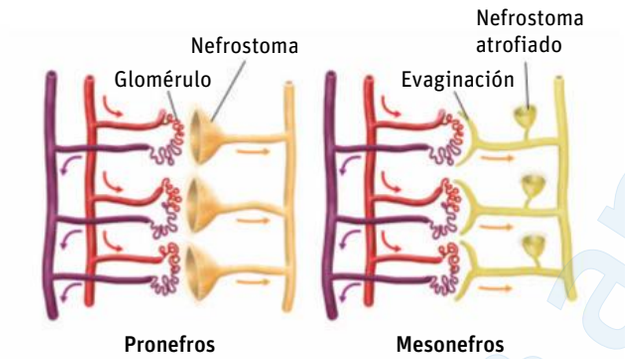
b) Identifica las estructuras señaladas con números y explica cómo llega la sangre a todas las células y vuelve al corazón.

40. Recuerda los sistemas circulatorios de los distintos tipos de vertebrados. Supón que, como se cree, el corazón de los dinosaurios era de tipo aviar.



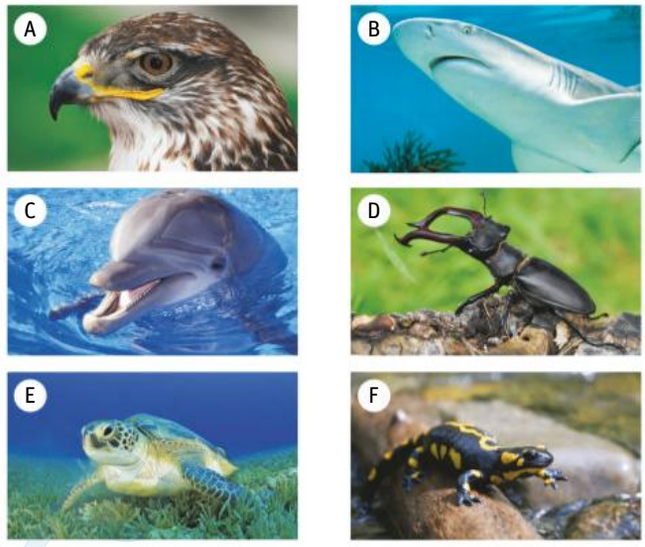
Construye un diagrama evolutivo basado en los sistemas circulatorios y relaciónalo con la evolución de estos grupos.

41. Observa las fases evolutivas previas al metanefros (nefronas) de los mamíferos:

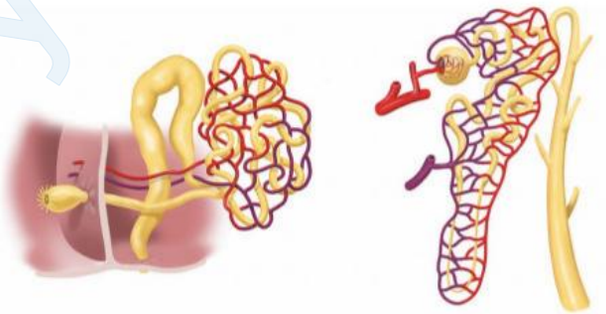


Dibuja la tercera secuencia (metanefros) y explica el proceso evolutivo hasta alcanzar esa estructura.

42. Identifica estos animales y clasifícalos en función del producto nitrogenado que excretan:



43. ¿Qué representan las siguientes ilustraciones?



¿Qué semejanzas y diferencias anatómicas y fisiológicas encuentras entre ellas?

Biblioteca global

44. **Las adaptaciones al desierto**

A pesar del nombre, las ratas canguro no tienen mucho que ver con los canguros, ya que son roedores. Se llaman así por sus grandes patas traseras, adaptadas al salto. Viven en los desiertos mexicanos y presentan importantes adaptaciones a ese ambiente.

Observa la tabla sobre algunas de las entradas y salidas de agua en el organismo de estos animales en comparación con el ser humano:

		Rata canguro	Humano
Entradas	Agua bebida	0 %	50 %
	Agua con alimento	10 %	40 %
Salidas	Orina	25 %	60 %
	Evaporación en piel y pulmones	70 %	35 %

Como puedes ver, las ratas canguro no beben agua en toda su vida; sin embargo, un 90 % de sus fuentes de agua no aparece en la tabla.

a) ¿De dónde obtienen estas ratas la mayor parte del agua?

b) Compara el porcentaje de agua que esta rata elimina en su orina con la que expulsamos nosotros. ¿Dónde radica la capacidad del roedor para perder menos agua en su orina?

c) Investiga sobre las capacidades de dromedarios y camellos para resistir sin beber y describe los mecanismos metabólicos que les permiten vivir en desiertos y prescindir durante mucho tiempo de agua. Busca otros vertebrados adaptados a sequías extremas y describe sus sistemas para lograrlo.

Para adoptar medidas de curación ante una enfermedad es necesario realizar un diagnóstico, para lo cual es imprescindible conocer el estado del organismo. Para ello existen técnicas que nos permiten "ver" el interior del cuerpo sin abrirlo; una de ellas nos proporciona mucha información sobre el estado de salud: el análisis de sangre.

La sangre es un líquido que recorre todo el cuerpo, transporta nutrientes, distribuye energía térmica, lleva mensajes y sirve de soporte a las células de defensa del organismo. Los análisis de sangre nos permiten conocer su composición y nuestro estado de salud.

¿Cómo interpretar un análisis de sangre?

La información que aporta un análisis de sangre depende de lo que haya solicitado el médico (en función de la finalidad del estudio), pero en general contiene varios tipos de datos que pueden resumirse en dos grupos: el **hemograma** y los **datos bioquímicos**.

¿Qué nos dice el HEMOGRAMA?

Los datos del hemograma ofrecen información sobre el total de células de cada tipo y algunos datos más:

- La **serie roja** (los glóbulos rojos, hematíes o eritrocitos).
- La **serie blanca** (los glóbulos blancos o leucocitos).
- La **serie plaquetaria** (los fragmentos celulares llamados plaquetas o trombocitos).
- La cantidad de **hemoglobina**.
- El **hematocrito** o porcentaje de la sangre ocupado por los glóbulos rojos.
- El tamaño de los eritrocitos medido por el volumen corpuscular medio (VCM).

VALORES MEDIOS

- Hematíes: 4-6 millones/mL
- Leucocitos: 3000-15 000/mL
  De ellos: Neutrófilos: 37-72 %
  Linfocitos: 20-50 %
- Plaquetas: 120-455 mL
- Hemoglobina: 11-18 g/dL
- Hematocrito: 26-54 %
- VCM: 85-110 fL (1 fL = 10^{-15} L)

¿Qué nos dicen los DATOS BIOQUÍMICOS?

Aportan información sobre la cantidad de moléculas presentes en la sangre. Los datos bioquímicos más frecuentes son los siguientes:

- La **glucosa**, cuyos valores altos se relacionan con la diabetes.
- La **creatinina**, un compuesto procedente de las células musculares que se elimina en el riñón e informa de su funcionamiento y del estado muscular.
- La **urea** y el **ácido úrico**, ambos productos de degradación del metabolismo del nitrógeno. Informan sobre el funcionamiento del sistema excretor.
- Algunos tipos de **grasas** como el **colesterol**, del que se mide en realidad la cantidad de lipoproteínas que se le unen para transportarlo en la sangre; o los **triglicéridos** de las grasas digeridas con el alimento.
- **Enzimas** como las **transaminasas** procedentes de las células hepáticas, de las que hay tres tipos: GOT, GPT y Gamma GT. Informan sobre el hígado.
- **Elementos químicos** como el calcio, el fósforo, el sodio, etc.

VALORES MEDIOS

- Glucosa: 60-110 mg/dL
- Creatinina: 0,7-1,2 mg/dL
- Urea: 10-40 mg/dL
- Ácido úrico: 3,4-7 mg/dL
- Colesterol total: 100-200 mg/dL
- Triglicéridos: 35-200 mg/dL
- Transaminasa GOT: 0-37 UI/L
- Transaminasa GPT: 0-41 UI/L
- Calcio: 8,5-10,2 mg/dL
- Fósforo: 2,7-4,5 mg/dL
- Sodio: 130-150 mEq/L

ACTIVIDADES

45. Cita alguna patología que provoque cambios en la composición de la sangre.

46. Estudia estos datos procedentes de un análisis de sangre:

leucocitos: 2000/mL; plaquetas: 100 mL; hemoglobina: 15 g/dL; glucosa: 140 mg/dL; colesterol: 245 mg/mL; triglicéridos: 175 mg/mL; GPT: 30 UI/L. Señala los valores anormales y explica su posible causa.

47. En un análisis de sangre se obtienen valores muy altos de glucosa, hemoglobina y glóbulos rojos, así como valores anómalos de GOT. ¿Qué posibles problemas puede tener el paciente?

48. Examina un análisis de sangre que guardes en casa e interprétalo.

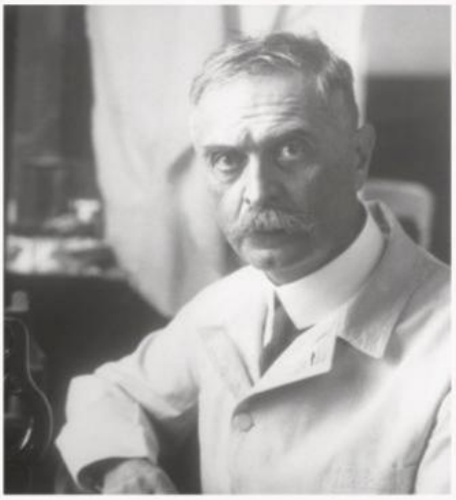
49. ¿Crees que los análisis de orina pueden revelar alteraciones del organismo? ¿Por qué?

El descubrimiento de los grupos sanguíneos

En la actualidad las transfusiones de sangre salvan muchas vidas. Pero para ello hay que tener en cuenta los grupos sanguíneos, dado que algunas transfusiones producen rechazo inmunitario. El conocimiento de la existencia de los grupos sanguíneos se inició en 1901 y abrió las puertas al éxito de las transfusiones.

Karl Landsteiner

Aunque las transfusiones de sangre ya se habían intentado desde el siglo XVII, no tuvieron éxito hasta finales del XIX, en que Karl Landsteiner, catedrático de Anatomía Patológica en la Universidad de Viena inició experimentos con sangre humana.



Karl Landsteiner (1868-1943).

Landsteiner comprobó que cuando mezclaba sangres de dos personas, a menudo aparecían grumos por aglutinación de sus glóbulos rojos. Obtuvo sangre de una veintena de individuos y separó el suero de los glóbulos rojos, lavándolos y llevándolos a una disolución acuosa con la concentración salina de la sangre, lo que se conoce como **suero fisiológico**. Tras realizar todo tipo de mezclas, en 1901 descubrió que había tres tipos de glóbulos rojos a los que denominó **A**, **B** y **0** (cero). Unos discípulos suyos descubrieron posteriormente el tipo **AB**. Este sistema se denominó "**AB0**".

El sistema AB0

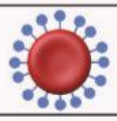
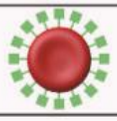
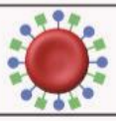
Los glóbulos rojos pueden llevar en su superficie dos tipos de sustancias proteicas: A o B. A este respecto hay cuatro tipos de personas: aquellas cuyos eritrocitos carecen de cualquiera de ellas (grupo 0), personas cuyos eritrocitos presentan una (grupo A) u otra (grupo B) y personas cuyos eritrocitos presentan las dos (grupo AB). De este modo se originan los cuatro tipos de sangres de este sistema.

Los glóbulos rojos pueden llevar en su superficie dos tipos de sustancias proteicas A o B.

La presencia de sustancias extrañas (**antígenos**) al organismo genera una respuesta inmune: los linfocitos fabrican sustancias químicas (**anticuerpos**) contra ellas. La aglutinación de la sangre de diferentes personas que investigó Landsteiner se debe a este fenómeno. Así, si una persona del grupo A recibe una transfusión de sangre del grupo B o AB, la sustancia B que va en esa sangre actuará para él como un antígeno, lo que desencadenará la respuesta inmune en el individuo: sus linfocitos fabricarán anticuerpos anti-B que aglutinarán los glóbulos rojos transfundidos, formando grumos y haciendo inviable la transfusión.

El sistema Rh

Posteriormente, en 1940, Landsteiner descubrió un segundo sistema sanguíneo al que denominó sistema Rh, por haberlo encontrado cuando realizaba experimentos con sangre de monos Rhesus (*Macaca mulatta*). En este caso, hay un antígeno denominado factor Rh, que determina la existencia de dos grupos sanguíneos: Rh positivo (Rh+) y Rh negativo (Rh–). La sangre de las personas Rh–, al carecer del factor Rh, reaccionan inmunitariamente contra la transfusión de sangre Rh+. ■

	Grupo A	Grupo B	Grupo AB	Grupo O
Glóbulos rojos				
Antígenos	A	B	AB	Sin antígenos
Anticuerpos en plasma	Anti-A	Anti-B	Sin anticuerpos	Anti-B y anti-A

ACTIVIDADES

50. ¿Qué tipos de sangre del sistema ABO pueden utilizarse en una transfusión a una persona del grupo B? ¿Y si es B–?

51. En el sistema ABO, existe un grupo sanguíneo denominado "receptor universal" porque puede recibir sangre de cualquier grupo de este sistema. ¿Cuál es? Justifica tu respuesta.

52. ¿A quiénes pueden donar sangre los receptores universales?

53. Otro grupo sanguíneo se denomina "donante universal". ¿Cuál es? ¿De quiénes puede recibir sangre? ¿Y si consideramos, además, el sistema Rh?

54. ¿Cuál es tu grupo sanguíneo? ¿A qué personas podrías donar y de quiénes podrías recibir sangre?